第 38 卷第 4 期 生 态 学 报 Vol.38,No.4
2018 年 2 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Feb.,2018

DOI: 10.5846/stxb201701050043
刁元彬, 刘红, 袁兴中, 张乔勇, 熊森, 黄亚洲, 岳俊生, 周李磊.水位变动影响下三峡库区汉丰湖鸟类群落及多样性.生态学报,2018,38(4):1382-1391.
Diao Y B, Liu H, Yuan X Z, Zhang Q Y, Xiong S, Huang Y Z, Yue J S, Zhou L L.Impact of water level fluctuation on avian community and diversity in Hanfeng Lake of the Three Gorges Reservoir.Acta Ecologica Sinica,2018,38(4):1382-1391.

水位变动影响下三峡库区汉丰湖鸟类群落及多样性

刁元彬[1,2,3], 刘 红[1,2,3,*], 袁兴中[1,2,3], 张乔勇[1,2,3], 熊 森[4], 黄亚洲[4], 岳俊生[1,2,3], 周李磊[1,2,3]

1 煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆 400030
2 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400030
3 重庆大学资源及环境科学学院, 重庆 400030
4 重庆开州澎溪河湿地自然保护区管理局, 重庆 405400

摘要:受三峡水库夏落冬涨的水位调控方式影响,位于三峡库区腹心的重庆开州区汉丰湖形成 22.5m 水位落差。为了解汉丰湖鸟类群落结构与动态水位变化之间的响应关系,2015 年 3 月—2016 年 2 月对汉丰湖鸟类群落结构及多样性进行了调查。共记录鸟类 97 种,隶属 12 目 32 科,其中湿地鸟类 49 种,主要包括雁鸭类(18 种)、鸻鹬类(13 种)、鹭类(7 种)及秧鸡类(5 种)。研究表明:受水位变化影响,鸟类群落结构及其多样性变化显著。夏季(8 月)低水位期(水位高程 152.50m),鸟种数最高,为 34 种,Shannon-Wiener 指数最高;肉食性鸟与食虫鸟是主要取食功能群;与夏季低水位期生境类型多样、消落带植物正处于生长旺盛期、食物资源丰富有关,是雀形目鸟类、鹭类、秧鸡类等适宜的栖息地。冬季(12 月)高水位期(水位高程 174.50m),鸟种数为 30 种,Shannon-Wiener 指数、均匀度指数均最低,植食性鸟类是主要的取食功能群,鸟类数量最高;与冬季高水位期水面开阔、生境类型单一有关,高水位期的大水面有利于鸭类集群越冬。冬季在退水期(水位高程 170.01m),水位下降导致汉丰湖生境结构变化,越冬鸟类数量和物种丰度降低,空间分布格局也随之变化。鸟类是三峡水库生物多样性的重要组成部分,为保护和提升三峡水库生物多样性,恢复和营造鸟类栖息地,应针对繁殖鸟和越冬水鸟的功能需求进行生态设计。

关键词:鸟类群落; 多样性; 水位变动; 汉丰湖; 三峡水库

Impact of water level fluctuation on avian community and diversity in Hanfeng Lake of the Three Gorges Reservoir

DIAO Yuanbin[1,2,3], LIU Hong[1,2,3,*], YUAN Xingzhong[1,2,3], ZHANG Qiaoyong[1,2,3], XIONG Sen[4], HUANG Yazhou[4], YUE Junsheng[1,2,3], ZHOU Lilei[1,2,3]

1 *State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control*, *Chongqing* 400030, *China*
2 *Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment*, *Ministry of Education*, *Chongqing* 400030, *China*
3 *College of Resource and Environmental Science*, *Chongqing University*, *Chongqing* 400030, *China*
4 *Pengxi River Wetland Nature Reserve Management Bureau*, *Chongqing* 405400, *China*

Abstract: Impacted by the water level control (summer down, winter up) of the Three Gorges Reservoir, the water-level fluctuation of the Hanfeng Lake located at the center of the Three Gorges Reservoir reaches 22.5 m. In order to determine the response relationship between the avian community structure and water-level fluctuation, we conducted a survey on the structure and diversity of the avian community in this area from March 2015 to February 2016. We recorded 97 bird species

基金项目:国家科技重大专项(2013ZX07104-004-05)
收稿日期:2017-01-05; **网络出版日期**:2017-11-12
*通讯作者 Corresponding author.E-mail: hliu63@ sina.com

belonging to 32 families of 12 orders. Of these species, 47 were wetland birds comprising waterfowls (18 species), shorebirds (13 species), egrets (7 species), and rallidaes (5 species). The research showed that the structure and diversity of the avian community of the Hanfeng Lake were significantly affected by its water-level fluctuation. During the low-water-level period in summer (August, at the water level of 152.50m), the avian richness (34 species) and Shannon-Wiener index were the highest, and the carnivorous and insectivorous birds were the main feeding functional groups. Owing to the vast habitat diversity, the vigorously growing plants and abundant food resources were available. This period provided suitable habitats for passeriformes, egrets, rallidaes, and so on. During the high-water-level period of the Hanfeng Lake in winter (December, at the water level of 174.50m), the avian Shannon-Wiener index and Pielou index were the lowest, and the herbivorous birds were the main feeding functional group; however the number of birds was the largest due to the presence of open water with single type of habitat in this period, and the open water was favorable for the ducks clustering to overwinter. During the water-releasing period in winter (at the water level of 170.01m), a decline in water level resulted in the changes in the habitat structure of the Hanfeng Lake leading to a decline in the number and richness of wintering birds, according to which their spatial distribution patterns changed at the same time. Birds are important components of the biodiversity of the Three Gorges Reservoir. To protect and promote the biodiversity of this reservoir as well as to restore and rebuild the avian habitats, we should create ecological designs to satisfy the functional needs of breeding birds and wintering waterfowls.

Key Words: avian community; diversity; water level fluctuation; Hanfeng Lake; Three Gorges Reservoir

三峡水库蓄水后,由于防洪、清淤及航运等需求,三峡水库实行"蓄清排浑"的运行方式,即每年汛期(6—9 月)将水位降至 145m,放水排沙;汛期过后将水位抬升至 175m,拦蓄清水。因此,三峡水库正常蓄水运行后,在 145—175m 高程的库区两岸,形成与天然河流涨落季节相反、水位落差高达 30m、面积达 348.9km^{2}的水库消落带[1]。反季节、高水位落差导致三峡库区原有生态系统发生显著变化,对生物多样性产生强烈胁迫[2]。鸟类作为生态系统中的重要组成部分,是生态系统健康水平的指示类群[3-5]。目前三峡水库生物多样性研究多集中于藻类、底栖动物、鱼类、高等维管植物等生物类群[6-8]。对三峡水库鸟类生态学的研究比较匮乏,迄今为止,仅有苏化龙等[9-11]、张家驹等[12]、冉江洪等[13]等对库区鸟类进行过本底调查,但对三峡水库蓄水后鸟类群落的变化、季节性水位变化与鸟类群落结构之间的相互关系缺乏研究。本文以位于三峡库区腹心的重庆开州区汉丰湖为研究区域,选择不同水位时期,进行鸟类群落结构及其多样性的调查研究,探讨大型水库蓄水后鸟类群落及多样性对季节性水位变化的响应关系,旨在积累三峡库区生物多样性变化的长期数据,为国内外大型水库的生物多样性保护及其管理提供科学依据。

1　研究区域与研究方法

1.1　研究区域

研究区域汉丰湖位于三峡库区腹心的重庆开州区,是长江一级支流澎溪河回水末端,地理坐标为 108°18′41.35′′—108°′27′41.84″E,31°09′10.09′′—31°11′16.39′′N。研究区域属亚热带季风气候,多年平均气温 18.5℃,多年平均降水量 1385mm。受三峡水库水位调控影响,环汉丰湖形成了水位变幅接近 22.5m 的消落带[14]。为减缓汉丰湖大面积消落带对开州城区生态环境的不利影响,2007 年,在重庆开州新城区下游 4.5km 处修建水位调节坝,拟将消落带水位变幅由 22.5m 降至 4.72m,并形成具有独特水位变动的"城市内湖"—汉丰湖。汉丰湖水位调节坝的调控方式为:冬季,当三峡水库水位上涨至 175m,调节坝闸门打开,汉丰湖与三峡水库同水位,即 175m 高水位运行;夏季,当三峡水库坝前水位下降至 145m 时,闸门关闭,汉丰湖水位维持在 170.28m。汉丰湖水位调节坝自 2012 年建成后,迄今为止尚未下闸蓄水,因此一直保持着与三峡水库同步的水位变化。2017 年汉丰湖将首次尝试在夏季三峡水库低水位时期下闸蓄水到 170.28m 水位高程。

针对汉丰湖的水位季节性变化,为了保障汉丰湖水环境安全,改善汉丰湖周城市人居环境质量,环汉丰湖消落带及其上的湖岸区实施了系列湿地修复工程,包括基塘工程(汉丰湖南岸石龙船大桥至游泳馆、汉丰湖南岸芙蓉坝、汉丰湖北岸石龙船大桥至头道河口)、湿地多塘工程(头道河河口)、林泽工程(东河河口、乌杨坝)及多带多功能生态护坡(乌杨坝)。

1.2　调查方法

2015 年 3 月至 2016 年 2 月对汉丰湖鸟类群落及其生境进行了调查,根据水位变动特点、代表性生境类型,共设置了 6 个固定定量调查样点(表 1, 图 1)。S1—S4 样点的调查面积设置为 $10hm^2$,S5—S6 为 $20hm^2$。同时根据汉丰湖生境状况,对整个湖区进行了鸟类的定性调查。

表 1　汉丰湖调查样点环境特征

Table 1　Environmental characteristics of six sampling sites for quantitative survey in Hanfeng Lake

样点 Sampling sites	位置 Position	消落带宽度/m Width of littoral zone	离城镇居民点的距离/m Distance to urban residential spots	已实施的生态工程 Constructedecological engineer
S1	石龙船大桥	21—100	184	基塘工程
S2	头道河河口	129—201	109	湿地多塘工程
S3	侨城半岛	156—277	163	无
S4	东河河口	200—219	151	林泽工程
S5	水东坝	401—634	310	无
S6	乌杨坝	403—687	2014	多带多功能生态护坡、林泽工程

冬季调查分两次进行,即冬季Ⅰ(2015 年 12 月最高水位期,水位高程为 174.50m)和冬季Ⅱ(2016 年 2 月开始退水后,代表水位消退初期,水位高程为 170.01m)。春、夏及秋季定量调查分别选择 2015 年 4、8、10 月进行。每个月调查 3 次。选择晴朗无风的天气,在鸟类活动的高峰段(7:00—10:00;16:00—18:00),使用 8×42 倍双筒望远镜及 20—60 倍单筒望远镜进行观察,记录鸟类的种类、数量、行为及生境特征,鸟类识别主要参照《中国鸟类野外手册》[15],鸟类分类参照《中国鸟类分类与分布名录》[16]。

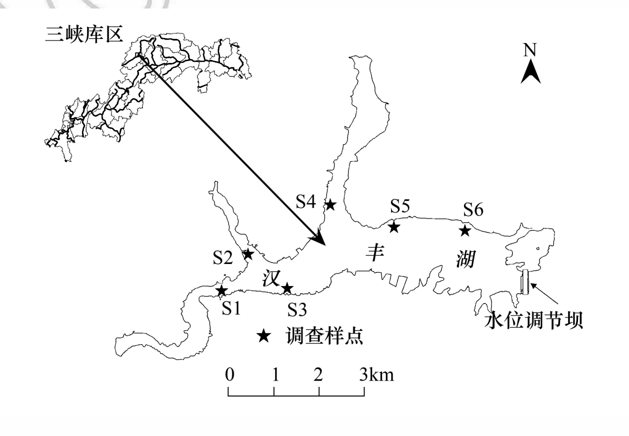


图 1　调查样点位置

Fig.1　The location of sampling sites in Hanfeng Lake

1.3　功能群划分

参考 Paszkowski 和 Tonn[3]、Gatto 等[17]、Ortega-Álvarez 等[18]的研究,并结合野外对鸟类取食习性的实际观察,将鸟类划分为 4 种取食功能群:(1)肉食性鸟,取食鱼、螺、贝类及小型脊椎动物等;(2)食虫鸟,主要取食昆虫;(3)植食性鸟,主要取食植物体果实、种子、谷物、根茎、块茎等;(4)杂食性鸟,取食小型动物、植物体等多种食物。

1.4　数据分析

优势度测定采用 Berger-Parker 优势度指数(I)[19],计算公式为:

$$I = N_i / N \qquad (1)$$

优势度等级按照如下标准划分:优势种(>10%),常见种(1%—10%),稀有种(<1%)[20]。

鸟类多样性采用 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数(J)测定[19],计算公式为:

$$H = -\sum_{i=1}^{S} P_i \mathrm{In} P_i \qquad (2)$$

Pielou 均匀度指数:

$$J = H/\ln S \tag{3}$$

式中,S 为物种数;N 为总个体数; N_i 为第 i 个物种的个体数量;P_i 为第 i 种个体数量占群落总个体数量的比例。

鸟类群落相似性采用 Sørenson 相似性系数测定,计算公式为:

$$c = 2j/(a + b) \tag{4}$$

式中,j 为 2 个季节共有的鸟类种类数, a 为第一个季节的鸟类种类数, b 为第二个季节的鸟类种类数[21]。

用 One-way ANOVA 对群落数量指标进行差异显著性检验。若差异显著,采用 Duncan 法进行多重比较。数据采用 SPSS 18.0 进行统计处理。显著性水平取 0.05。

采用除趋势对应分析法(Detrended correspondence analysis, DCA)分析越冬鸟类的空间分布特征及其栖息的生境特点[22-23]。剔除相对多度小于 0.1%的物种,以 6 个调查样点在冬季Ⅰ和冬季Ⅱ的 28 个物种的多度数据为基础,构建 28×12 二维矩阵进行除趋势对应分析。DCA 分析及制图用 CANOCO 4.5 软件完成。

2　结果与分析

2.1　群落组成

本研究共记录鸟类 97 种,隶属 12 目 32 科。其中,雀形目鸟类最多,有 43 种,占鸟类种数的 44.33%;其次为雁形目和鸻形目,有 18 种和 13 种,分别占鸟类种数的 18.56%、13.40%。其他类群鸟类种数均低于 10 种。湿地鸟类 49 种,主要包括雁鸭类(18 种)、鸻鹬类(13 种)、鹭类(7 种)、秧鸡类(5 种)。在居留类型上,留鸟 41 种,占鸟类种数的 42.27%;冬候鸟 30 种,占鸟类种数的 30.93%;夏候鸟和旅鸟种类较少,所占鸟类种数的比例分别为 14.43%和 11.34%;迷鸟 1 种,为斑头雁(*Anser indicus*)。国家Ⅱ级野生保护动物 3 种,分别为普通鵟(*Buteo japonicus*)、鸳鸯(*Aix galericulata*)及小天鹅(*Cygnus columbianus*)。红胸田鸡(*Porzana fusca*)、蓝胸秧鸡(*Gallirallus striatus*)为重庆市新记录种。

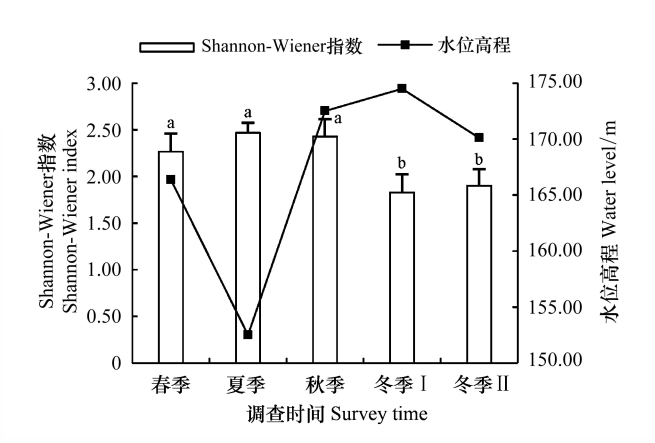
优势种种类及其个体数量随季节变化明显,并表现出与水位变动一致的变化关系。8 月汉丰湖低水位期,优势种为白鹭(*Egretta garzetta*)和棕头鸦雀(*Sinosuthora webbiana*),其中白鹭在汉丰湖小规模集群,仅在 S3 样点就观测到 75 只。10 月到次年 2 月汉丰湖处于高水位期,秋季与冬季Ⅰ、冬季Ⅱ的优势种不同;秋季的优势种为斑嘴鸭(*Anas zonorhyncha*)和麻雀(*Passer montanus*);冬季Ⅰ的优势种为绿头鸭(*A. platyrhynchos*)、罗纹鸭(*A. falcata*)和骨顶鸡(*Fulica atra*);冬季Ⅱ的优势种为绿头鸭和骨顶鸡。冬季Ⅰ的优势种个体数量最高,占当月鸟类总数量的比例为 80.05%。

汉丰湖鸟类物种丰度和多度随季节变化明显。夏季的物种丰度最高,为 34 种;其次为秋季 32 种;冬季Ⅰ 30 种,冬季Ⅱ 28 种;春季的物种丰度最低,仅 27 种。冬季Ⅱ和春季的物种丰度分别与夏季、秋季、冬季Ⅰ的差异显著($P<0.05$);冬季Ⅱ和春季之间差异不显著($P>0.05$);夏季、秋季和冬季Ⅰ之间的差异不显著($P>0.05$)。

冬季Ⅰ汉丰湖蓄水到最高水位,水域面积为 14.8km^2,调查到鸟类数量 1048 只,其中水鸟 1024 只;鸭类是主要生态类群,有 848 只。夏季汉丰湖低水位期,水域面积大大缩小,约 4km^2,调查到水鸟 121 只;雀形目鸟类及鹭类是主要的生态类群,分别为 254 只、101 只。冬季Ⅱ与冬季Ⅰ的鸟类多度差异不显著($P>0.05$);冬季Ⅰ和冬季Ⅱ与春季、夏季、秋季之间鸟类多度差异显著($P<0.05$);春季、夏季、秋季之间的多度差异不显著($P>0.05$)。

2.2　群落多样性及相似性

2015 年夏季汉丰湖为低水位期,2015 年 10 月至 2016 年 2 月为高水位期,水位高程随季节变化明显。夏季、秋季、春季的 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数显著高于冬季Ⅰ和冬季Ⅱ(图 2,图 3)。冬季Ⅰ和冬季Ⅱ的多样性指数分别与春季、夏季、秋季之间的差异显著($P<0.05$);冬季Ⅰ和冬季Ⅱ之间差异不显著($P>0.05$);春季、夏季、秋季之间差异不显著($P>0.05$)。



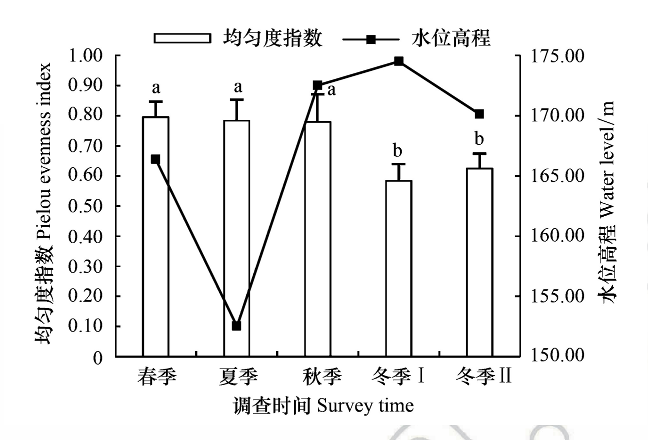


图 2 不同季节汉丰湖鸟类群落 Shannon-Wiener 指数(均值±标注差)**及对应的水位高程**

Fig.2 Species Shannon-Wiener index in different seasons of Hanfeng Lake (Mean±SE) **and water level**

不同字母代表显著性水平 0.05 的差异性

图 3 不同季节汉丰湖鸟类群落 Pielou 均匀度指数(均值±标注差)**及对应的水位高程**

Fig.3 Pielou evenness index of avian communities in different seasons of Hanfeng Lake (Mean±SE) **and water level**

不同字母代表显著性水平 0.05 的差异性

由表 2 可知,冬季Ⅰ汉丰湖高水位(174.50m)期,与春季、夏季、秋季的鸟类群落结构相似性系数低。夏季与冬季Ⅰ仅有 10 种鸟类相同,鸟类群落结构相似性系数最低,为 0.31。8 月低水位期(152.50m)主要为雀形目鸟类和鹭类;12 月高水位期,主要为雁鸭类和雀形目鸟类,鸟类群落结构组成差异明显。12 月和 2 月群落相似性系数较高,为 0.83。

表 2 汉丰湖不同季节鸟类群落相似性系数

Table 2 The similarity coefficients of avian communities in the different seasons

季节 Season	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季Ⅰ Winter Ⅰ	冬季Ⅱ Winter Ⅱ
春季 Spring	1.00	0.62	0.61	0.35	0.40
夏季 Summer		1.00	0.52	0.31	0.39
秋季 Autumn			1.00	0.48	0.50
冬季Ⅰ Winter Ⅰ				1.00	0.83
冬季Ⅱ Winter Ⅱ					1.00

冬季Ⅰ为 2015 年 12 月,冬季Ⅱ为 2016 年 2 月

2.3 越冬鸟类空间分布

DCA 排序轴能够反映一定的环境梯度,通过对环境因子与排序轴的相关分析,可以识别与排序轴显著相关的环境因子,反映物种分布与环境因子之间的关系[24-25]。图 4 为汉丰湖鸟类 12 月和 2 月的 DCA 二维排序图。越冬鸟类的空间分布格局有差异。第一排序轴从左至右基本反映了在冬季 S1—S6 样点水面宽度增加和距离城镇居民点的距离降低的趋势。第一排序轴反映了越冬的雁鸭类集中分布在水面最为开阔、人为干扰强度最低的 S6 样点。鸭科鸟类冬季在 S6 区域集群,个体数量占越冬鸟类总数量的 80.5%。第一排序轴特征值分为 0.712,解释了 36.8%的鸟类分布特征。第二排序轴从下至上基本反映了人为干扰强度从低到高的变化趋势。麻雀、白鹡鸰(*Motacilla alba*)、纯色山鹪莺(*Prinia inornata*)等雀形目鸟类零散分布在人为干扰较强的 S1—S4 样点。第二排序轴特征值分为 0.231,第二排序轴解释了 11.9%的分布特征。在冬季Ⅰ与冬季Ⅱ,S5 的鸟类组成有差异。

2.4 功能群动态变化

汉丰湖鸟类取食功能群组成随季节不同而变化显著,由此反映了功能群组成与水位变化之间的关系(图 5,图 6)。食虫鸟主要由雀形目鸟类和䴕䴘类组成,在春季和秋季的相对丰度(即各功能群的鸟类种类组成)最高,分别为 59.26%和 46.88%;夏季和冬季略低。肉食性鸟类由鹭类、鸊鷉类、鸬鹚等组成,相对丰度随季节

变化不明显。杂食性鸟类主要由雀形目鸟类和秧鸡类组成,相对丰度随季节变化不明显。植食性鸟类主要由鸭科鸟类和雀形目鸟类组成,随季节变化极为显著,冬季相对丰度最高,两个水位高程时期(即 12 月 174.50m 水位高程,和 2 月 170.01m 水位高程)分别为 26.67%和 35.71%;春季最低,仅为 3.70%。

汉丰湖鸟类功能群的相对多度(即各功能群的鸟类数量组成)随季节变化的规律与相对丰度的变化明显不同。肉食性鸟类相对多度夏季最高,为 31.35%,其余季节均较低。食虫鸟的相对多度春季和夏季较高,分别为 49.77%和 40.34%,冬季下降至最低,分别为3.39%和 3.43%。植食性鸟相对多度春季最高,其余季节略低。植食性鸟相对多度冬季最高,两个水位高程时期分别为 72.53%、68.13%;春季和夏季极低,分别为 1.17%和 8.14%。夏季和冬季的鸟类功能群的相对多度差异极为明显。

3　讨论

3.1　水位变化与鸟类多样性

明水面、滩涂、植被是影响湿地鸟类群落多样性及空间分布格局的 3 个重要因子[26]。水位变动是三峡水库蓄水后汉丰湖生态系统变化的主要驱动因子。与三峡水库水位变化相一致,汉丰湖的季节性水位变化导致明水面、泥滩、植被等主要因子随水位高程涨落而发生动态变化,进而影响汉丰湖鸟类多样性及空间分布格局。

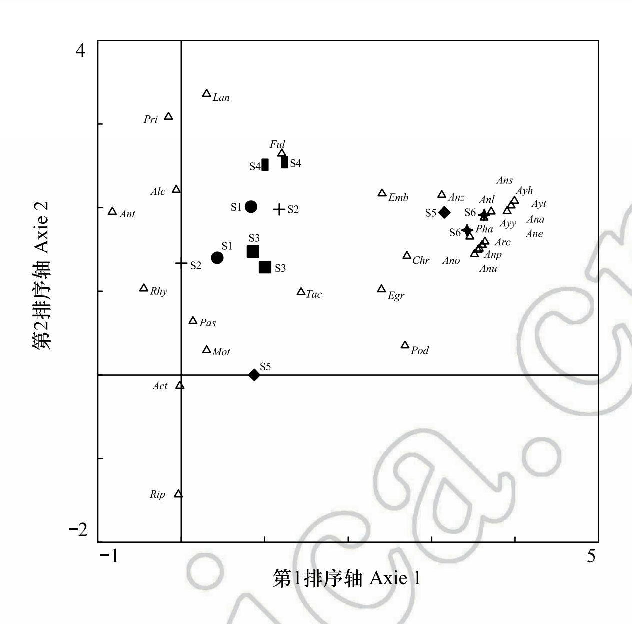


图 4　汉丰湖越冬鸟类 DCA 分析二维排序图

Fig.4　Detrended correspondence analysis ordination of wintering birds in Hanfeng Lake

图中不同的缩写对应不同鸟类的拉丁名:*Pha*:普通鸬鹚,*Phalacrocorax carbo*;*Alc*:普通翠鸟,*Alcedo atthis*;*Tac*:小䴙䴘,*Tachybaptus ruficollis*;*Pod*:凤头䴙䴘,*Podiceps cristatus*;*Ful*:骨顶鸡,*Fulica atra*;*Chr*:红嘴鸥,*Chroicocephalus ridibundus*;*Act*:矶鹬,*Actitis hypoleucos*;*Arc*:苍鹭,*Ardea cinerea*;*Egr*:白鹭,*Egretta garzetta*;*Ana*:赤膀鸭,*Anas strepera*;*Ans*:罗纹鸭,*Anas falcate*;*Anp*:赤颈鸭,*Anas Penelope*;*Anl*:绿头鸭,*Anas platyrhynchos*;*Anz*:斑嘴鸭,*Anas zonorhyncha*;*Anu*:针尾鸭,*Anas acuta*;*Ano*:花脸鸭,*Anas Formosa*;*Ane*:绿翅鸭,*Anas crecca*;*Ayt*:红头潜鸭,*Aythya ferina*;*Ayh*:白眼潜鸭,*Aythya nyroca*;*Ayy*:凤头潜鸭,*Aythya fuligula*;*Pas*:麻雀,*Passer montanus*;*Emb*:小鹀,*Emberiza pusilla*;*Lan*:棕背伯劳,*Lanius schach*;*Pri*:纯色山鹪莺,*Prinia inornata*;*Rip*:崖沙燕,*Riparia riparia*;*Mot*:白鹡鸰,*Motacilla alba*;*Ant*:树鹨,*Anthus hodgsoni*;*Rhy*:红尾水鸲,*Rhyacornis fuliginosa*

8 月汉丰湖低水位期,鸟类群落多样性指数和物种丰富度最高、功能群类型最多,主要原因如下:(1)研究范围内鸟类生境在一年中的不同季节发生明显的变化,这种变化与季节性水位变化密切相关。夏季当三峡水库水位降到 145m 时,汉丰湖水位降至最低,水域面积缩小至一年中最小的时期,约 4km^2。相比其他月份,大面积的河漫滩和沙洲出露,并有洼地、沟渠、小型水塘、小型岛屿、砾石滩等多种微生境结构。多样的微生境及其组合类型为白鹭、彩鹬(*Rostratula benghalensis*)、红胸田鸡、矶鹬(*Actitis hypoleucos*)等肉食性鸟和食虫鸟提供了食物资源和栖息环境。(2)以狗牙根(*Cynodon dactylon*)、苍耳(*Xanthium strumarium*)、胡枝子(*Lespedeza tomentosa*)等为优势种组成的消落带植被,在夏季低水位时期多处于花期或果期,草籽和植物群落内的昆虫资源是一年中最为丰富的时期,为棕头鸦雀、纯色山鹪莺、黑卷尾(*Dicrurus macrocercus*)等食虫鸟提供了优良的栖息地和食物资源。(3)汉丰湖部分湖岸(如汉丰湖南岸石龙船大桥至游泳馆、汉丰湖南岸芙蓉坝、汉丰湖北岸石龙船大桥至头道河河口)营造有面积不等、形态各异的湿地基塘,塘内鱼类、螺类、水生昆虫等食物资源丰富,挺水植物团块状种植,形成良好的庇护地,是蓝胸秧鸡、黑水鸡(*Gallinula chloropus*)、白胸苦恶鸟(*Amaurornis phoenicurus*)等涉禽的繁殖场所。

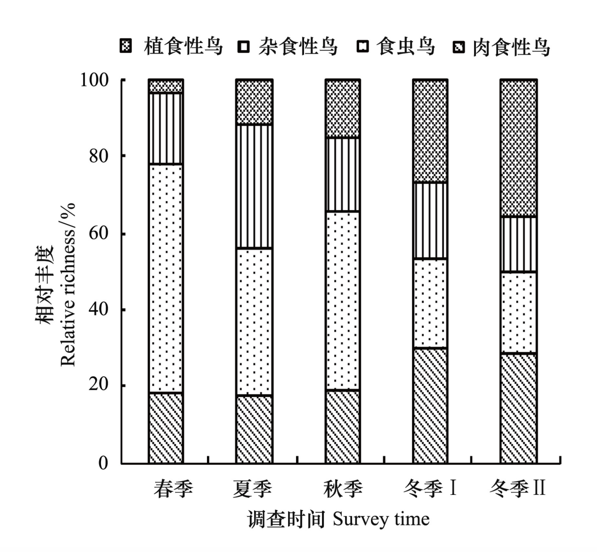


图 5 汉丰湖鸟类取食功能类群相对丰度的季节变化

Fig. 5 Temporal changes of avian feeding functional groups' relative richness in different seasons of Hanfeng Lake

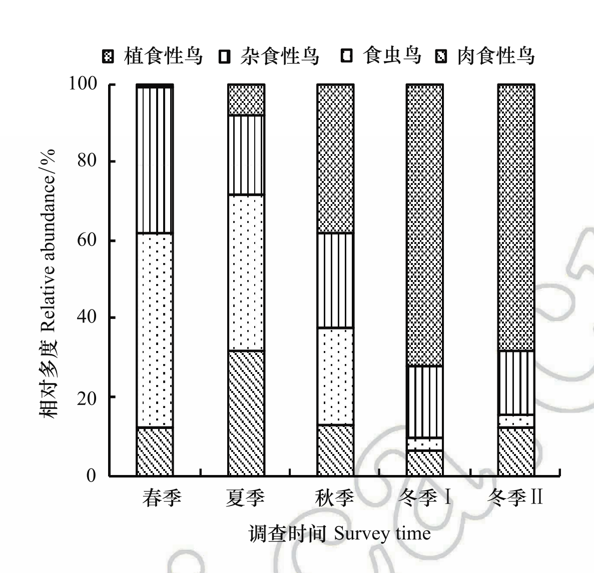


图 6 汉丰湖鸟类取食功能类群相对多度的季节变化

Fig. 6 Temporal changes of avian feeding functional groups' relative abundance in different seasons of Hanfeng Lake

汉丰湖 12 月达到最高水位 175m,水域面积宽阔,水面达 14.8km^2,滩涂被淹没,大部分植被淹没水下,生境结构单一,物种丰富度最低。夏季和冬季鸟类群落组成及结构差异明显。从 2015 年 8 月到 2015 年 12 月、2016 年 2 月,研究区域内在草丛中活动的食虫鸟、植食性鸟和肉食性鸟类物种丰度和多度明显下降;到了冬季,这 3 种功能群类型的鸟类趋向周边农耕地分布取食越冬。冬季汉丰湖形成大水面吸引绿头鸭、罗纹鸭、绿翅鸭等植食性鸟类集群越冬。骨顶鸡善于潜水,能觅食水下 25cm 的植物体、小型鱼类及水生昆虫,适宜深水环境,因此也是冬季的优势种[27-28]。

4 月是汉丰湖水位消退的末期,10 月是汉丰湖水位上涨期,此阶段为水位变化动态时期。4 月和 10 月生境与 8 月相似,因此鸟类群落多样性指数、物种丰度、多度等与 8 月接近。4 月与 10 月是鸻鹬类迁徙时期,滩涂是鸻鹬类在迁徙时重要的停歇地和觅食地[26,29]。但在研究期内仅观测到 5 种鸻鹬,鸻鹬类种类及种群数量少,主要原因有:(1)汉丰湖 4 月水位下降,水域面积缩小,新生成大面积泥滩。由于光热条件适宜,泥滩水分蒸发,含水量减少,泥滩内的狗牙根、苍耳、合萌(*Aeschynomene indica*)等植物的繁殖体迅速萌发生长,极快覆盖泥滩生境。汉丰湖泥滩出现的时间较短,不能够给鸻鹬类提供稳定的食物资源。(2)2015 年 4 月汉丰湖流域降雨量比往年大,形成洪水,加大了对泥滩的冲刷、侵蚀,不适宜鸻鹬类停歇、觅食。(3)2015 年 10 月由于水位抬升,夏季的滩涂被淹没;水位高程大于 170m 时滩涂生境极少,零星分布,难以吸引鸻鹬类停歇觅食。

3.2 冬季鸟类空间分布格局

鸟类多样性及其空间分布格局与生境结构复杂性密切相关,受水域面积、滩涂、湿地植被及周边土地利用类型等多种环境因子影响[30]。冬季高水位期,汉丰湖有库湾、河口、半岛、开阔大水面等生境结构。汉丰湖 6 个样点由于生境结构与周边环境不同,冬季鸟类空间分布显著不同。

冬季汉丰湖的鸟类集中分布于 S6 样点,越冬水鸟种群数量显著高于其他样点,主要原因有:(1)S6 形成水域面积近 100hm^2、宽度超过 1km 的大水面,是河鸭属、麻鸭属、潜鸭属适宜的越冬栖息地。库岸坡度平缓,高程 172m 以上的植物残体和小型水生生物成为越冬雁鸭类的重要食物资源。(2)庇护性是鸟类在生境内进行觅食、求偶、繁殖、休憩等行为的重要条件。在汉丰湖北岸的乌杨坝,以香樟(*Cinnamomum chingii*)和斑茅(*Saccharum arundinaceum*)为优势种构成的多带多功能生态护坡,其长度超过 1km,宽度超过 50m,是优良的生境隔离带,削弱了外界人为干扰强度。在生态护坡以下,水位高程为 172m 的消落带区域实施了以池杉(*Taxodium distichum var. imbricatum*)、落羽杉(*Taxodium distichum*)、江南桤木(*Alnus trabeculosa*)为优势种的林

泽工程,形成了宽度超过 10m、与库岸平行的带状林泽(耐水淹的木本群落)。在蓄水高程达到 175m 时,林泽露出水面超过 3m。林泽树冠层为鸬鹚(*Phalacrocorax carbo*)、白鹭、苍鹭等水鸟提供了停栖地,而林内水面则是斑嘴鸭、罗纹鸭、绿头鸭等的庇护、休憩场所。S6 是生态护坡和林泽的复合庇护生境,有利于屏蔽周边的人为干扰,极大提高了生境的隐蔽性。(3)S6 周边为自然荒草地,人为干扰强度很小。

S1—S5 样点水面宽度、水域面积低于乌杨坝,周边属于城市滨湖公园、居民区,人为干扰强度高,鸟类物种丰度和种群数量均较低。

汉丰湖 2 月份水位已经开始降低,水域面积减少,在 169—175m 高程区内形成大小不一的小型水塘,滞留了不少小型鱼类,是苍鹭、白鹭等涉禽重要的食物资源,因此鹭类种群数量增加。由于水域面积降低和食物资源减少,罗纹鸭种群数量减少。2 月份由于水位下降约 5m,S5 生境结构改变,从大水面变为小型岛屿、泥滩及浅水区等多种结构构成的复合生境,吸引大量绿头鸭、骨顶鸡等水鸟栖息,物种丰度和个体数量显著增加。

3.3　汉丰湖鸟类生境恢复与营造

从 2013 年 6 月至 2016 年 2 月,在汉丰湖记录到鸟类近 130 种,湿地鸟类超过一半,包括中华秋沙鸭(*Mergus squamatus*)、小天鹅(*Cygnus columbianus*)、鸳鸯(*Aix galericulata*)等珍稀濒危水鸟,成为三峡库区乃至长江上游重要的水鸟越冬地。2017 年汉丰湖水位调节坝将正式下闸蓄水,将最低水位维持在 170.28m,水位落差由过去的 22.5m 降低到 4.72m。由此,过去夏季低水位期的河漫滩、沙洲、洼地、砾石滩等生境将大部分消失,将导致鹭科、秧鸡科、彩鹬科等涉禽的栖息地减少或丧失。如何针对汉丰湖鸟类进行生境恢复和重建,降低水位变化对鸟类的影响是必须高度重视的生物多样性保护问题。

结合汉丰湖鸟类群落组成及时空变化特征,重点针对繁殖鸟和越冬鸟类设计生境。繁殖鸟与栖息地动态变化最为密切[31]。红胸田鸡、蓝胸秧鸡是汉丰湖内主要的繁殖鸟,可以沿湖岸营造形态不同,面积不一、水位深度不同的基塘,团块状种植乡土湿地植物,维持三分之二的明水面面积,为秧鸡科、鹭科鸟类营造繁殖庇护生境。

岛屿是河流、湖泊、水库等水体中的重要结构单元,是涉禽和游禽优良的庇护、繁殖生境。结合汉丰湖水鸟的时空分布特征,在 S6 样点林泽外营造生境岛,沿高程梯度从湖内到湖岸高地形成水域-岛链-林泽-生态护坡的复合生境结构,为鹭类和越冬雁鸭类在汉丰湖营造隐蔽的生境空间。

参考文献(References):

[1] 张虹. 三峡库区消落带土地资源特征分析. 水土保持通报, 2008, 28(1): 46-49.

[2] Wu J G, Huang J H, Han X G, Gao X M, He F L, Jiang M X, Jiang Z G, Primack R B, Shen Z H. The Three Gorges Dam: an ecological perspective. Frontiers in Ecology and the Environment, 2004, 2(5): 241-248.

[3] Paszkowski C A, Tonn W M. Foraging guilds of aquatic birds on productive boreal lakes: environmental relations and concordance patterns. Hydrobiologia, 2006, 567(1): 19-30.

[4] 陆健健. 河口生态学. 北京: 海洋出版社, 2003.

[5] Wu C F, Lin Y P, Lin S H. A hybrid scheme for comparing the effects of bird diversity conservation approaches on landscape patterns and biodiversity in the Shangan sub-watershed in Taiwan. Journal of Environmental Management, 2011, 92(7): 1809-1820.

[6] New T, Xie Z Q. Impacts of large dams on riparian vegetation: applying global experience to the case of China's Three Gorges Dam. Biodiversity Conservation, 2008, 17(13): 3149-3163.

[7] Park Y S, Chang J B, Lek S, Cao W X, Brosse S. Conservation strategies for endemic fish species threatened by the three gorges dam. Conservation Biology, 2003, 17(6): 1748-1758.

[8] Yan Q Y, Yu Y H, Feng W S, Yu Z G, Chen H T. Plankton community composition in the Three Gorges Reservoir Region revealed by PCR-DGGE and its relationships with environmental factors. Journal of Environmental Sciences, 2008, 20(6): 732-738.

[9] 苏化龙, 林英华, 张旭, 于长青, 冉江洪, 隆廷伦, 刘绍英. 三峡库区鸟类区系及类群多样性. 动物学研究, 2001, 22(3): 191-199.

[10] 苏化龙, 马强, 胥执清, 张小蓉. 三峡水库蓄水 139m 前后江面江岸冬季鸟类动态. 动物学杂志, 2005, 40(1): 92-95.

[11] 苏化龙, 肖文发, 王建修, 胥执清, 李望洪, 刘富国, 刘小云, 张小蓉, 王英. 三峡库区蓄水前后冬季小江水面及河岸鸟类种群波动调查. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2012, 37(11): 41-48.

[12] 张家驹, 熊铁一, 罗佳, 罗明澎, 吴大均. 三峡工程对库区鸟类资源的影响评价. 自然资源学报, 1991, 6(3): 262-273.

[13] 冉江洪, 刘少英, 林强, 刘世昌, 王跃招. 重庆三峡库区鸟类生物多样性研究. 应用与环境生物学报, 2001, 7(1): 45-50.

[14] 李波, 袁兴中, 熊森, 刘红, 岳俊生, 陶德均. 城市消落带景观基塘系统设计初探——以重庆开县汉丰湖为例. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2013, 30(6): 51-54.

[15] 约翰·马敬能, 卡伦·菲利普斯. 中国鸟类野外手册. 何芬奇, 译. 长沙: 湖南教育出版社, 2000.

[16] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录(第二版). 北京: 科学出版社, 2011.

[17] Gatto A, Quintana F, Yorio P. Feeding behavior and habitat use in a waterbird assemblage at a marine wetland in Coastal Patagonia, Argentina. Waterbirds, 2008, 31(3): 463-471.

[18] Ortega-Álvarez R, Macgregor-Fors I. Living in the big city: effects of urban land-use on bird community structure, diversity, and composition. Landscape and Urban Planning, 2009, 90(3/4): 189-195.

[19] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I:α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.

[20] 徐玲. 崇明东滩湿地植被演替不同阶段鸟类群落动态变化的研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2004.

[21] 孙儒泳. 动物生态学原理(第三版). 北京: 北京师范大学出版社, 2006.

[22] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2003.

[23] 阮得孟, 孙勇, 程嘉伟, 刘大伟, 鲁长虎. 盐城自然保护区新洋港河口不同生境冬季鸟类群落组成及其梯度变化. 生态学报, 2015, 35(16): 5437-5448.

[24] 王强, 袁兴中, 刘红. 山地河流浅滩深潭生境大型底栖动物群落比较研究——以重庆开县东河为例. 生态学报, 2012, 32(21): 6726-6736.

[25] 苏日古嘎, 张金屯, 张斌, 程佳佳, 田世广, 张钦弟, 刘素军. 松山自然保护区森林群落的数量分类和排序. 生态学报, 2010, 30(10): 2621-2629.

[26] 葛振鸣. 长江口滨海湿地迁徙水禽群落特征及生境修复策略[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.

[27] 哈丽亚, 程鲲, 宗诚, 李金波. 骨顶鸡日行为活动对游憩干扰的反应. 生态学杂志, 2014, 33(7): 1860-1866.

[28] 桑莉莉, 葛振鸣, 裴恩乐, 徐骁俊, 姜姗, 王天厚. 崇明东滩人工湿地越冬水禽行为观察. 生态学杂志, 2008, 27(6): 940-945.

[29] 葛振鸣, 王天厚, 施文彧, 周晓. 长江口杭州湾鸻形目鸟类群落季节变化和生境选择. 生态学报, 2006, 26(1): 40-47.

[30] 袁玉洁, 梁婕, 黄璐, 龙勇, 申升, 彭也茹, 武海鹏, 曾光明. 环境因子对东洞庭湖优势冬季水鸟分布的影响. 应用生态学报, 2013, 24(2): 527-534.

[31] Germaine S S, Rosenstock S S, Schweinsburg R E, Richardson W S. Relationships among breeding birds, habitat, and residential development in Greater Tucson, Arizona. Ecological Applications, 1998, 8(3): 680-691.

附录 1 研究区域不同季节和不同水位时期主要鸟类数量/只

Appendix 1 The main species' number of the study area in the different seasons and water levels

种名 Species	觅食功能类群 Functional guild	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季Ⅰ Winter Ⅰ	冬季Ⅱ Winter Ⅱ
普通鸬鹚 *Phalacrocorax carbo*	C	—	—	—	16.67±17.95	25.00±3.46
戴胜 *Upupa epops*	I	2.33±2.52	—	—	—	—
普通翠鸟 *Alcedo atthis*	C	1.00±1.00	2.00±2.00	8.00±2.65	1.00±0.00	1.00±0.00
普通鵟 *Buteo japonicus*	C	—	—	0.67±1.15	—	—
山斑鸠 *Streptopelia orientalis*	O	—	0.33±0.58	—	—	—
鹌鹑 *Coturnix japonica*	O	—	0.67±1.15	—	—	—
雉鸡 *Phasianus colchicus*	O	—	0.33±0.58	0.33±0.58	—	—
小䴙䴘 *Tachybaptus ruficollis*	C	6.00±3.46	—	11.67±4.04	12.33±0.58	20.67±1.53
黑颈䴙䴘 *Podiceps nigricollis*	C	—	—	—	0.33±0.58	—
凤头䴙䴘 *P. cristatus*	C	—	—	—	3.67±1.15	5.67±1.53
蓝胸秧鸡 *Gallirallus striatus*	O	—	2.00±0.00	—	—	—
黑水鸡 *Gallinula chloropus*	O	—	—	1.67±1.53	—	—
红胸田鸡 *Porzana fusca*	O	—	1.33±2.31	—	—	—
骨顶鸡 *Fulica atra*	O	—	—	—	104.00±7.55*	90.33±9.07*
彩鹬 *Rostratula benghalensis*	O	—	2.33±1.53	—	—	—
红嘴鸥 *Chroicocephalus ridibundus*	C	—	—	—	1.33±1.15	2.67±3.06
长嘴剑鸻 *Charadrius placidus*	I	0.33±0.58	—	1.00±1.00	—	—
金眶鸻 *C. dubius*	I	2.67±2.08	0.67±0.58	—	—	—

续表

种名 Species	觅食功能类群 Functional guild	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季Ⅰ WinterⅠ	冬季Ⅱ WinterⅡ
扇尾沙锥 *Gallinago gallinago*	O	—	—	0.67±1.15	—	—
白腰草鹬 *Tringa ochropus*	I	0.33±0.58	1.67±2.89	1.67±1.15	—	—
矶鹬 *Actitis hypoleucos*	I	0.33±0.58	0.67±0.58	2.67±1.15	1.00±0.00	0.67±0.58
大麻鳽 *Botaurus stellaris*	C	—	—	—	0.33±0.58	—
栗苇鳽 *Ixobrychus cinnamomeus*	C	0.33±0.58	2.33±3.21	—	—	—
池鹭 *Ardeola bacchus*	C	0.33±0.58	3.67±3.21	1.33±1.53	—	—
夜鹭 *Nycticorax nycticorax*	C	—	1.33±2.31	—	—	—
牛背鹭 *Bubulcus coromandus*	I	—	13.67±19.5	—	—	—
苍鹭 *Ardea cinerea*	C	—	1.33±1.53	3.00±3.46	3.33±1.53	14.00±2.65
白鹭 *Egretta garzetta*	C	9.67±3.06	75.33±52.84*	14.33±11.93	4.67±0.58	9.00±6.24
普通秋沙鸭 *Mergus merganser*	C	—	—	—	—	0.67±0.58
赤膀鸭 *Anas strepera*	H	—	—	—	12.00±12.00	6.00±4.36
罗纹鸭 *A. falcate*	H	—	—	—	140.67±69.21*	12.00±9.12
赤颈鸭 *A. Penelope*	H	—	—	—	6.33±5.51	33.33±28.87
绿头鸭 *A. platyrhynchos*	H	—	—	18.67±20.13	356.00±189.86*	311.00±62.34*
斑嘴鸭 *A. zonorhyncha*	H	—	2.67±4.62	56.67±54.45*	14.33±16.26	1.67±2.89
针尾鸭 *A. acuta*	H	—	—	—	1.33±2.31	9.67±11.93
花脸鸭 *A. Formosa*	H	—	—	—	—	3.33±5.77
绿翅鸭 *A. crecca*	H	—	—	29.67±27.10	15.67±15.95	63.33±13.50
红头潜鸭 *Aythya ferina*	O	—	—	—	15.00±11.36	2.67±2.31
白眼潜鸭 *A. nyroca*	O	—	—	—	5.33±6.81	—
凤头潜鸭 *A. fuligula*	O	—	—	—	4.67±8.08	13.00±11.79
黑卷尾 *Dicrurus macrocercus*	I	2.67±4.62	8.67±6.51	—	—	—
小云雀 *Alauda gulgula*	O	0.67±1.15	—	—	—	—
红头长尾山雀 *Aegithalos concinnus*	I	0.67±1.15	—	—	—	—
棕头鸦雀 *Sinosuthora webbiana*	I	8.00±10.39	37.67±22.28*	14.33±1.15	—	—
麻雀 *Passer montanus*	O	36.67±11.15*	27.33±27.65	67.67±82.21*	3.67±6.35	0.33±0.58
白腰文鸟 *Lonchura striata*	H	—	0.67±1.15	—	—	—
白颊噪鹛 *Garrulax sannio*	O	—	1.00±1.00	—	—	—
金翅雀 *Chloris sinica*	H	—	18.33±23.29	7.67±12.42	—	0.33±0.58
小鹀 *Emberiza pusilla*	H	1.67±1.53	—	3.67±2.08	2.00±3.46	2.67±4.62
东方大苇莺 *Acrocephalus orientalis*	I	—	—	1.00±1.73	—	—
冕柳莺 *Phylloscopus coronatus*	I	—	—	0.67±1.15	—	—
八哥 *Acridotheres cristatellus*	O	1.33±2.31	4.33±3.79	4.00±4.58	—	—
丝光椋鸟 *Spodiopsar sericeus*	O	13.67±17.67	10.67±10.07	0.33±0.58	—	—
棕背伯劳 *Lanius schach*	I	5.00±2.65	5.67±2.31	3.00±1.00	1.33±1.53	0.33±0.58
崖沙燕 *Riparia riparia*	I	—	—	—	3.33±2.31	—
家燕 *Hirundo rustica*	I	4.67±6.43	1.33±1.53	—	—	0.33±0.58
金腰燕 *Cecropis daurica*	I	6.33±7.09	6.67±3.06	—	—	—
棕扇尾莺 *Cisticola juncidis*	I	—	1.00±1.73	—	—	—
纯色山鹪莺 *Prinia inornata*	I	17.00±12.17*	15.33±4.51	12.33±1.53	4.67±2.08	7.33±3.79
黄臀鹎 *Pycnonotus xanthorrhous*	H	—	0.67±1.15	—	—	—
白头鹎 *P. sinensis*	O	0.33±0.58	5.00±2.65	—	—	—
黄鹡鸰 *Motacilla tschutschensis*	I	—	—	6.33±5.51	—	—
灰鹡鸰 *M. cinerea*	I	0.33±0.58	—	0.33±0.58	—	—
白鹡鸰 *M. alba*	I	16.67±3.06	16.33±5.69	28.00±9.17	12.33±1.53	12.00±1.00
树鹨 *Anthus hodgsoni*	O	—	—	—	5.67±5.13	—
黑喉石䳭 *Saxicola maurus*	I	1.00±1.73	—	0.33±0.58	—	—
北红尾鸲 *Phoenicurus auroreus*	I	—	—	0.33±0.58	0.33±0.58	—
红尾水鸲 *Rhyacornis fuliginosa*	I	2.67±1.15	1.33±0.58	3.00±2.65	2.67±0.58	1.67±2.08
蓝喉歌鸲 *Luscinia svecica*	I	—	—	0.33±0.58	—	—

C:肉食性鸟 Carnivore; I:食虫鸟 Insectivore; O:杂食性鸟 Omnivore; H:植食性鸟 Herbivore; *:各季节的优势种;—:该季节研究区域内没有观察到该种鸟类